

Etude de définition de débits biologiques pour les estuaires

Lot 2
Charente

COMTER
Commission géographique
Marais Littoral
présentation des résultats



4 novembre 2024

Objectif: proposer des débits d'eau douce fluviaux qui répondent aux besoins écologiques de l'estuaire : une question simple à poser, mais...

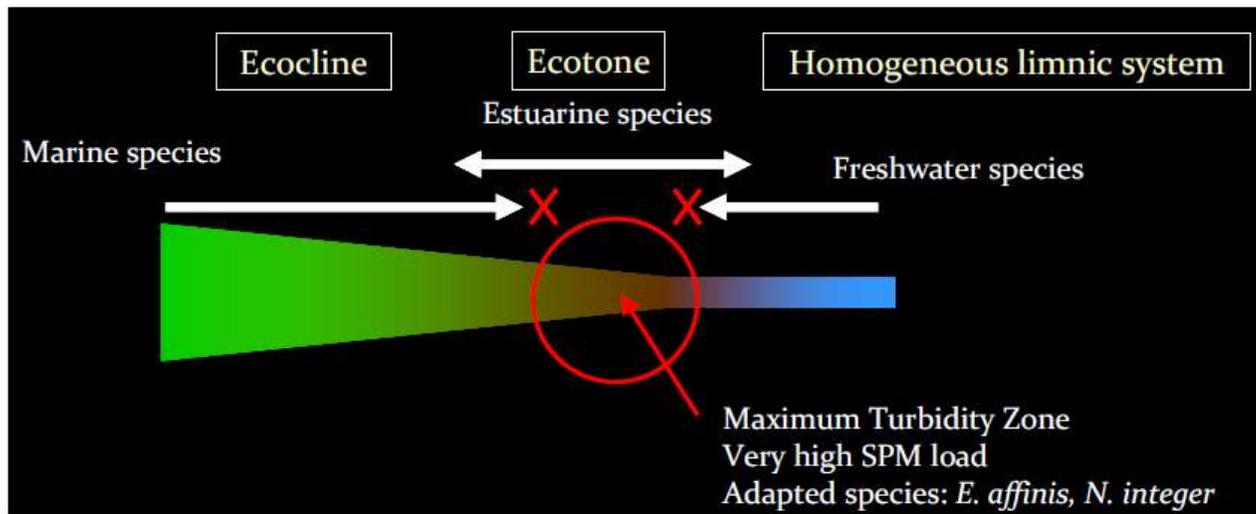


Fig. 2.11 Frontières écologiques en estuaire: modèle conceptuel tel que proposé à la suite de la présente étude pour la communauté zooplanctonique d'un estuaire turbide, la Charente.

Une organisation spatiale pilotée par le jeu des marées, de la turbidité et de la salinité et donc des débits fluviaux

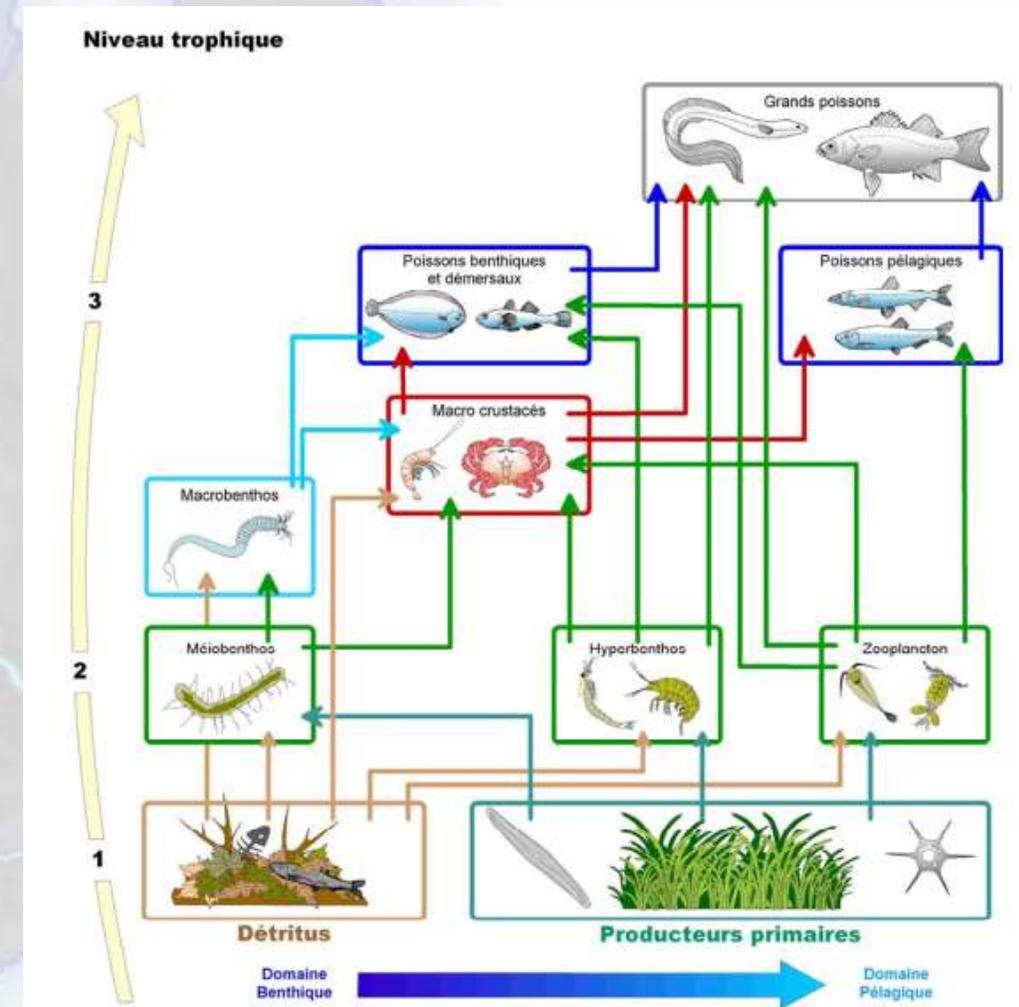


Fig. 5 : Exemple de réseau trophique d'un estuaire du type de la Gironde (d'après Lobry, 2004).

Un système écologique plein d'interactions

2 Rapports : Méthodologie puis résultats


72 rue Riquet – Bat A
31000 Toulouse
Tél : 05 61 62 50 68

Etude de définition de débits biologiques et débits objectifs complémentaires pour les bassins Charente – Boutonne – Seudre

Rapport d'avancement méthodologique



LOT 2
Les estuaires

VERSION INITIALE
Février 2021




72 rue Riquet – Bat A
31000 Toulouse
Tél : 05 61 62 50 68
E-mail : eauceca@eauceca.fr
www.eauceca.fr

Etude de définition de débits biologiques et débits objectifs complémentaires pour les bassins Charente – Boutonne – Seudre

Rapport d'avancement méthodologique



LOT 2
Estuaire de la Charente et DMB Saint Savinien

Phase II
Jun 2024



Cœur de la méthode : quantifier les débits d'eau douce fluviaux qui ont un impact sur les conditions écologiques de l'estuaire

Critères Charente	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Année
Continuité écologique	Selon calendrier migratoire des espèces ciblées notamment alose (Saint Savinien)				
Salinité	Structuration écologique estuarienne				
Turbidité	Expulsion Bouchon vaseux	Position dans l'estuaire			Selon hydrologie Sèche/humide de l'année
Oxygène dissous		Migration alose	Risque maximal habitat	Selon la baisse des températures, baisse du risque	
Synthèse	Facteurs limitants le plus exigeant Confrontation au régime hydrologique				

Démarche qui décrit les mécanismes et les interprète

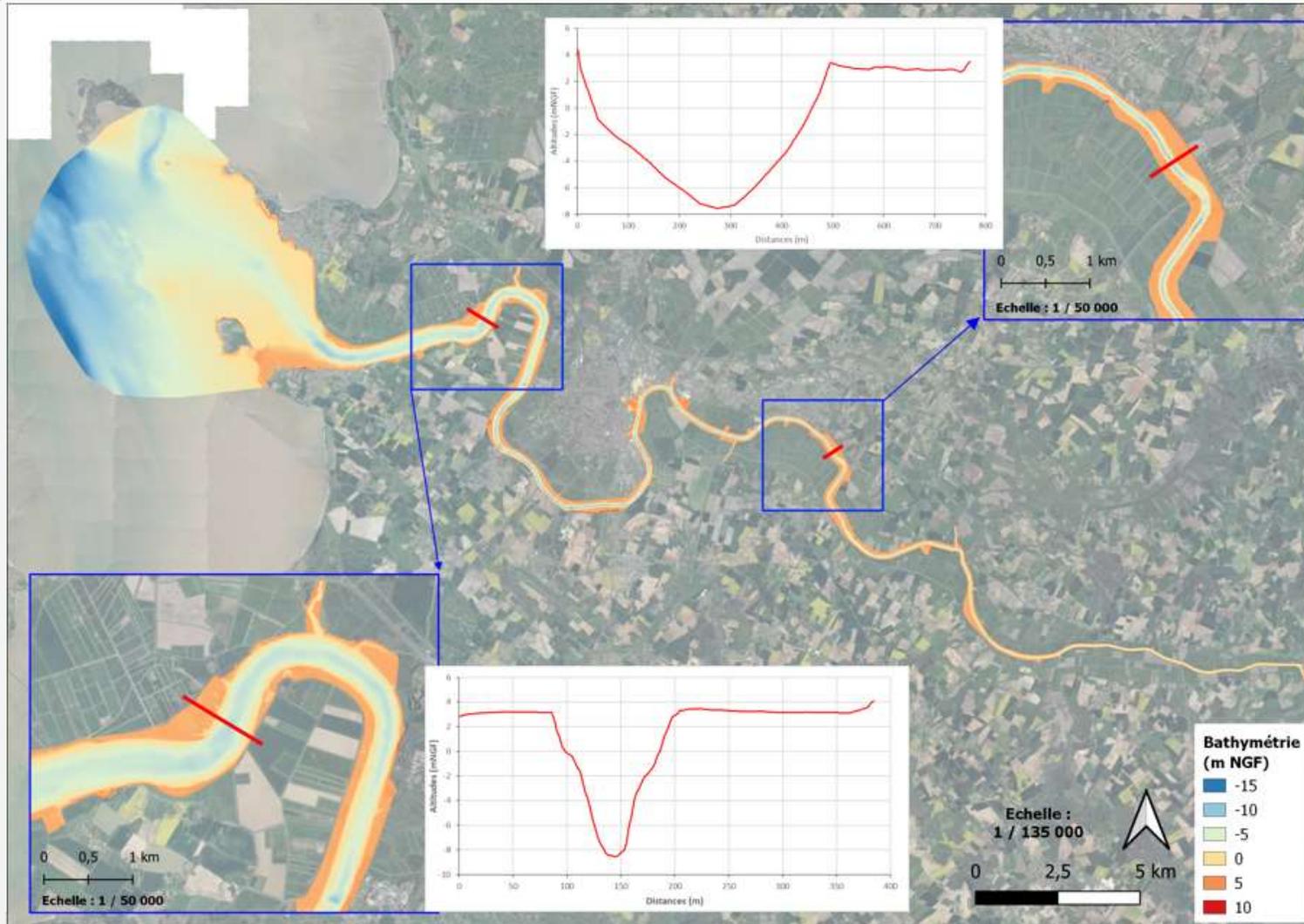
Chaque système estuarien est très complexe: Freins scientifiques qui doivent être pris en compte = > marges de progrès à moyen et long termes

Mais attente du SAGE pour orienter la gestion quantitative du bassin versant et de l'Etat pour la gestion de l'ouvrage de Saint Savinien; la démarche proposée est :

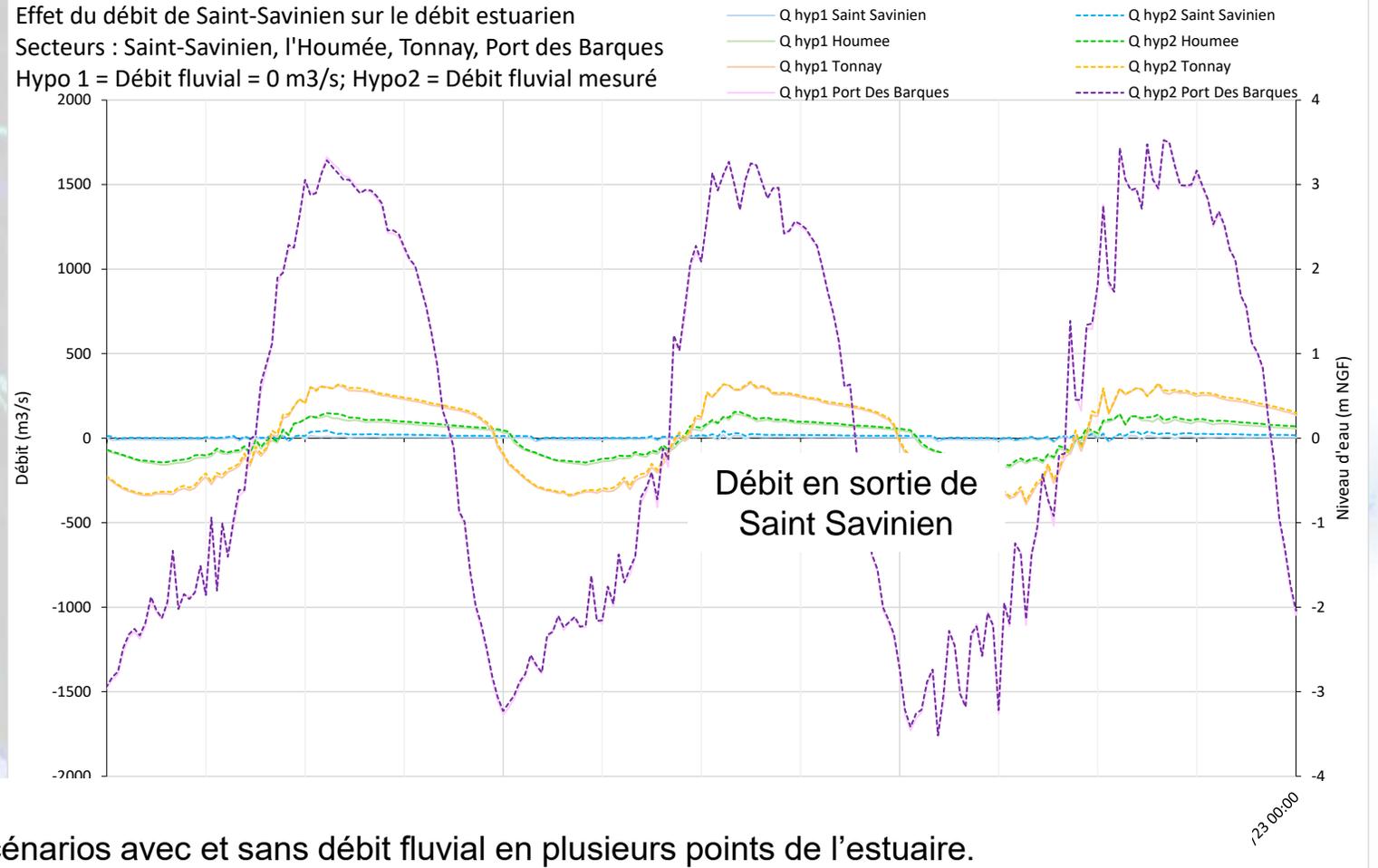
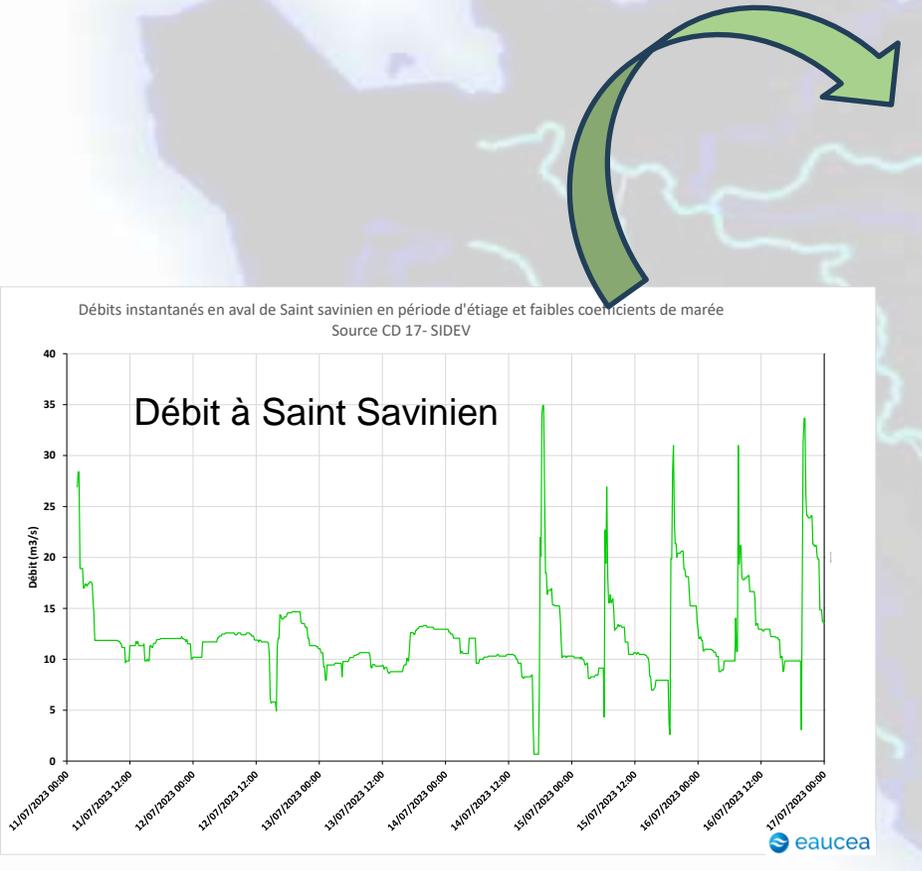
1. **Décrire** : renseigner le maximum de paramètres accessibles avec les données existante
 - Des données hydrologiques, description du régime annuel des apports;
 - Des données bathymétriques, permettent une modélisation hydraulique de l'effet conjoint des marées et des débits;
 - Des données qualité des eaux en continu (Magest) qui offrent la possibilité de construire des relations empiriques : Relier l'observation à ce que l'on peut décrire sur le plan hydraulique
2. **Interpréter:**
 - Fixer des objectifs biologiques
 - Effectuer une analyse du risque (fréquence)
 - Proposer des valeurs de débits sur le cycle annuel



Ce que nous enseignent les modélisations hydrauliques



Constat 1 : Les débits amont sont sans incidence notable sur les débits estuariens et insignifiant à l'embouchure (hors crue)



Comparaison de deux scénarios avec et sans débit fluvial en plusieurs points de l'estuaire.

Un résultat important : la gestion du plan d'eau de **Saint Savinien** n'a pas d'effet significatif à l'embouchure

Constat 2 : Les conditions physiques de déplacement des poissons ne sont pas dépendantes du débit sauf au niveau de l'ouvrage de Saint Savinien (étude en cours)

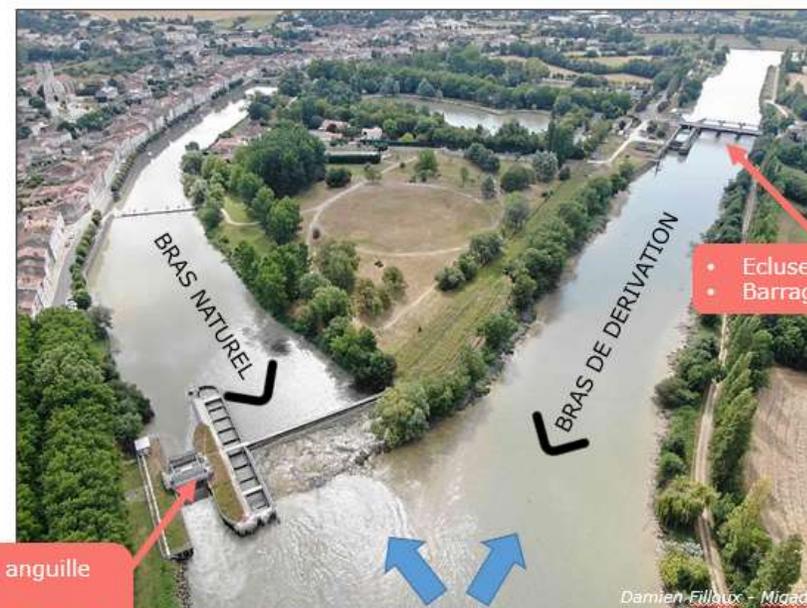


Les conditions de circulations hydrauliques jusqu'au pied de l'ouvrage semblent respectées y compris pour un débit fluvial nul.

Tableau 4 Tableau récapitulatif des groupes d'espèces ICE et des capacités de nage et de saut correspondantes.

Groupe ICE	Espèces	Espèces sauteuses	V, Sprint Umax associé (m/s)			Hauteur de saut associé (m)		
			Min	Moy	Max	Min	Moy	Max
1	Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)	Oui	4,5	5,5	6,5	1	1,5	2,5
	Truite de mer ou de rivière [50-100] (<i>Salmo trutta</i>)							
2	Mulets (<i>Chelon labrosus</i> , <i>Liza ramada</i>)	Oui	4	4,75	5,5	0,8	1,1	1,8
3a	Grande alose (<i>Alosa alosa</i>)	Non	3,5	4,25	5	-	-	-
3b	Alose feinte (<i>Alosa fallax fallax</i>)							
3c	Lamproie marine (<i>Petromyzon marinus</i>)							
4a	Truite de rivière ou truite de mer [25-55] (<i>Salmo trutta</i>)	Oui	3	4	5	0,5	0,9	1,4
4b	Truite de rivière [15-30] (<i>Salmo trutta</i>)							

Vue aérienne du site



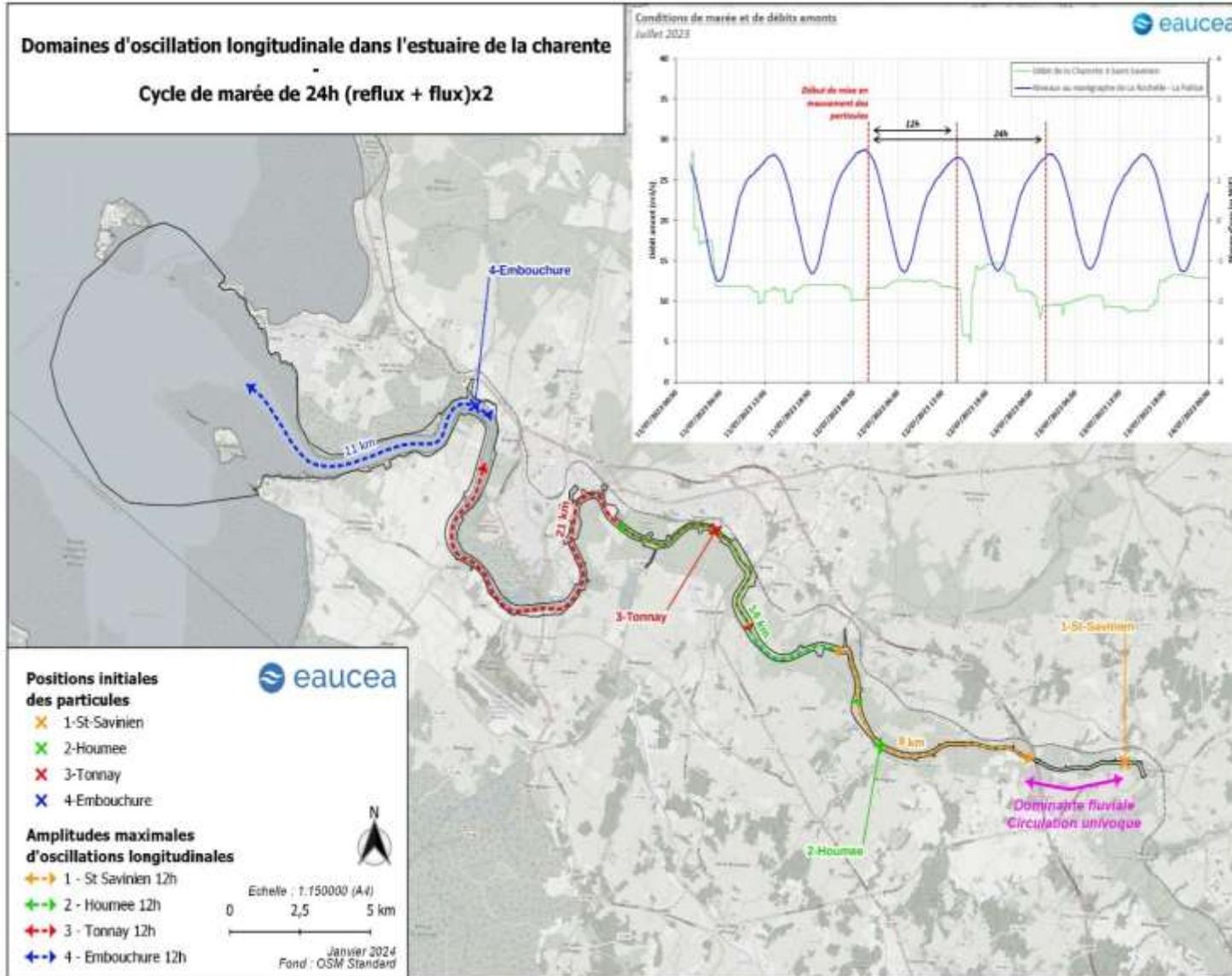
- Ecluse
- Barrage mobile

- Passe à anguille
- Clapet
- Passe à poissons
- Seuil fixe



> Le chemin emprunté dépend de l'attractivité

Constat 3 : L'oscillation amont aval des masses d'eau couvre plusieurs km et progresse vers l'aval



		Distances parcourue (m)			
		3 mg/L		5 mg/L	
Coef	Cycle	Flux	Reflux	Flux	Reflux
100	1	7 327	- 12 702	16 604	- 25 037
101	2	11 745	- 15 793	16 596	- 23 157
100	3	12 239	- 15 941	16 689	- 24 260
99	4	11 712	- 14 819	15 567	- 19 976
96	5	10 603	- 13 788	14 963	- 20 663
92	6	9 167	- 9 570	13 540	- 17 467
87	7	9 612	- 11 696	13 941	- 19 362
81	8	6 687	- 6 110	12 688	- 15 238
73	9	4 956	- 4 295	11 254	- 16 166
66	10	3 547	- 2 295	11 468	- 14 114

Ce que nous enseigne les mesures de la qualité des eaux



Tableau 13. Grille proposée en oxygène dissous, température, turbidité et salinité pour les poissons dans les masses d'eaux de transition françaises.

Classes	Oxygène	Température (°C)		Turbidité (NTU) : masse		Salinité (PSU)
	OD mg.L ⁻¹	Estuaire	Lagune	Tidale	Non tidale	Lagune (*)
Très bonne	≥ 7	< 20	< 22	≤ 50	< 5	< 40
Bonne	< 7 et ≥ 5	≥ 20 et < 23	≥ 22 et < 25			
Moyenne	< 5 et ≥ 3	≥ 23 et < 28	≥ 25 et < 30	> 50 et ≤ 500	> 5 et ≤ 50	≥ 40 et < 100
Médiocre	< 3 et ≥ 2	≥ 28	≥ 30	> 500	> 50	≥ 100
Mauvaise	< 2					

Stations de suivi de la qualité en continu exploitables dans l'étude

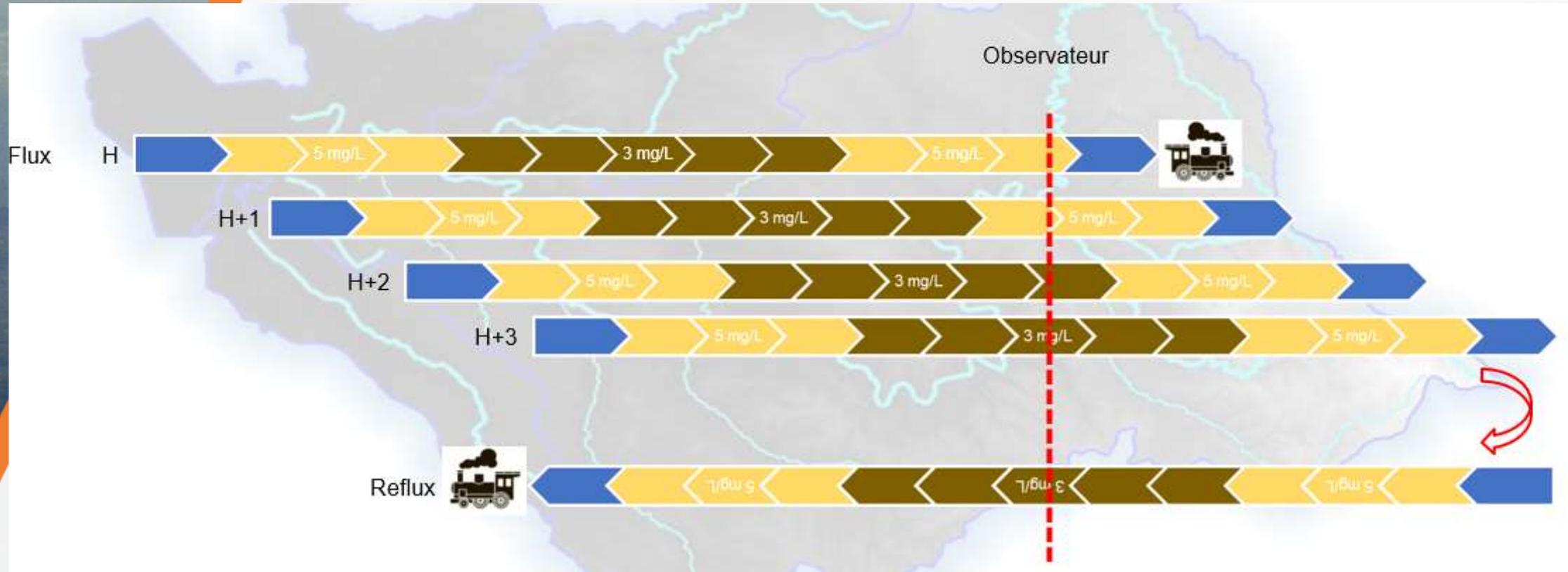
Mise en relations dépendante du débit

Discussion sur les exigences écologiques

Exigences écologiques prises en compte : Une décision du conseil scientifique : viser 4 mg/l O₂

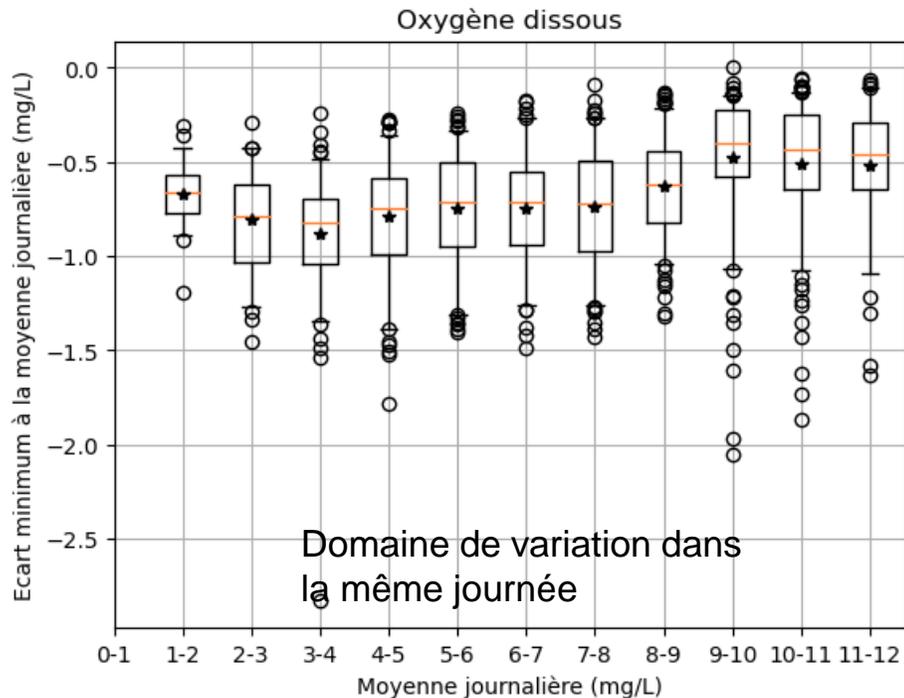
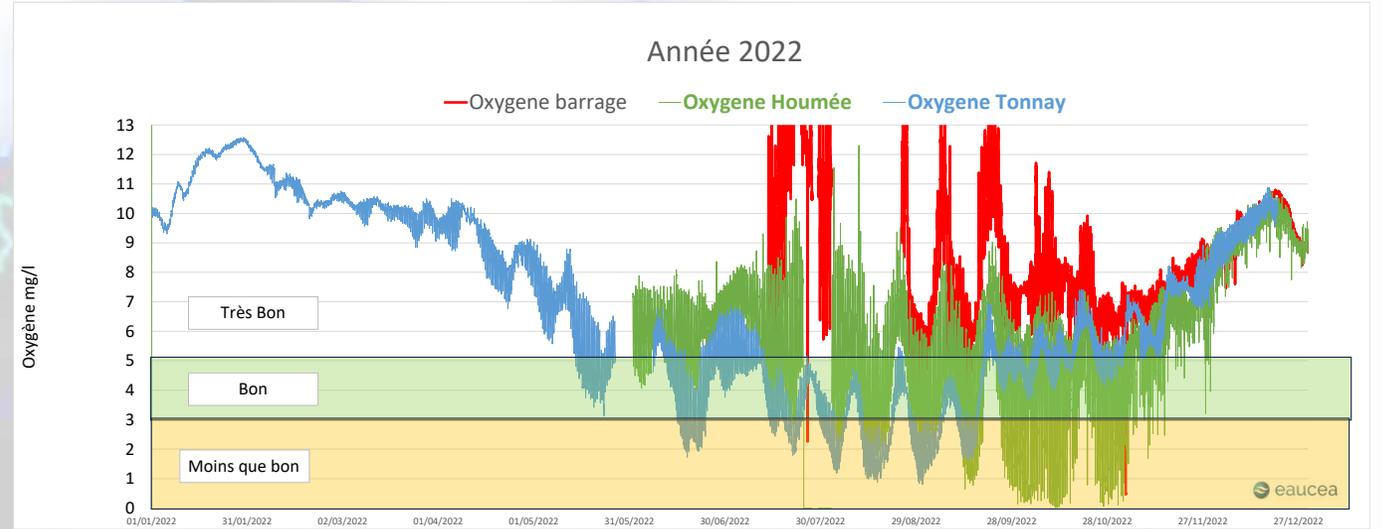
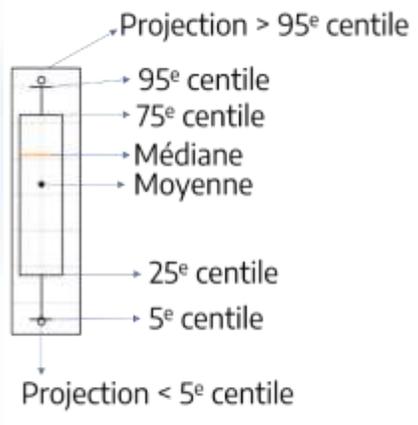
- La température de l'eau est indépendante du débit
- La salinité est une donnée structurante amont aval de l'estuaire. Le maintien d'une zone oligohaline significative dépend du débit.
- L'oxygène est le paramètre central de l'habitabilité. **Le conseil scientifique de juillet 2024, a recommandé de s'intéresser aux phases de concentration inférieure à 4 mg/l considérées comme limitante de l'habitat même si elles sont de faible durée.**

Enjeu de la qualité : un système qui varie sur la longueur et dans le temps



Choix de retenir le(s) domaine(s) estuarien le plus à risque

Forte variabilité des valeurs dans le temps : choix de s'intéresser à des durée courtes



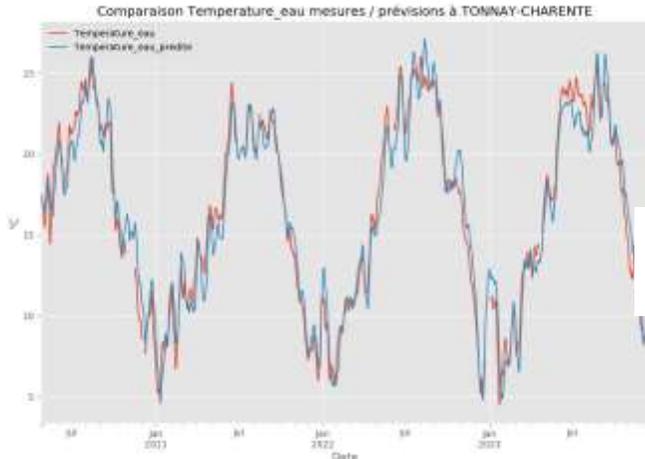
Pour O₂ à Tonnay, l'écart entre le minimum et la moyenne journalière atteint 1 mg/L

Un objectif à tenir :

5 mg/L en Moy Jour = 4 mg/l en ponctuel

Le modèle statistique Sturi'eau permet de simuler des conditions journalières à multiparamètres

Objectif : Simuler les conséquences qualitatives de combinaisons de paramètres externes (Débits, température, marée, matière oxydable)



Etape de calage

Etape de simulation



Schéma de la modélisation de la concentration en oxygène à Tonnay Charente

Données initiales simulées

Données simulées
De premier ordre

Données
de second ordre

Coefficient de marée
(moyenne journalière)

Débit fluvial (VCN20)

Turbidité (journalière)

Température moyenne
de l'air (station de
Saintes)

Température de l'eau
(Journalière)

Débit moyen sur 4 jours
(VCN 4)
Coefficient de marée
(moyenne journalière)

Salinité
(Journalière)

Matière oxydable (flux)

Concentration et
taux de saturation
en oxygène
(Journalier)

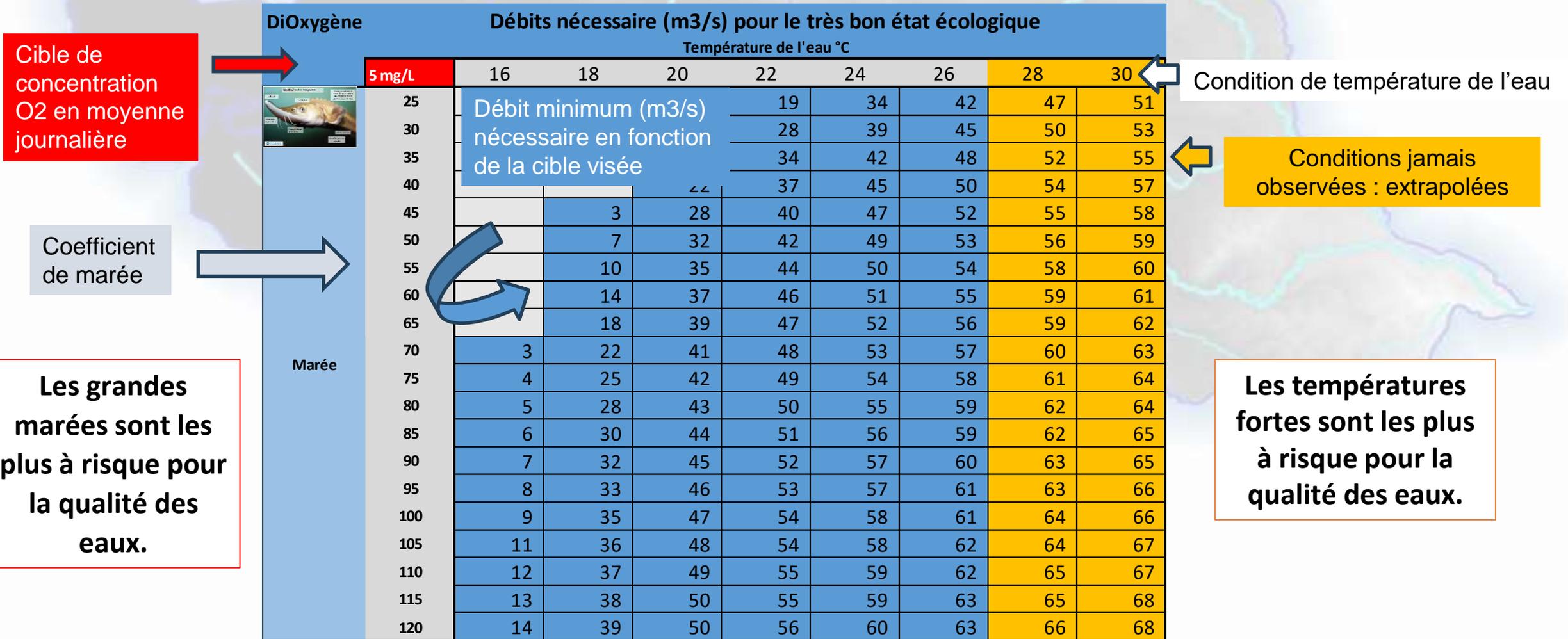


Exemple de la température de l'eau

Présentation des résultats sous forme matricielle

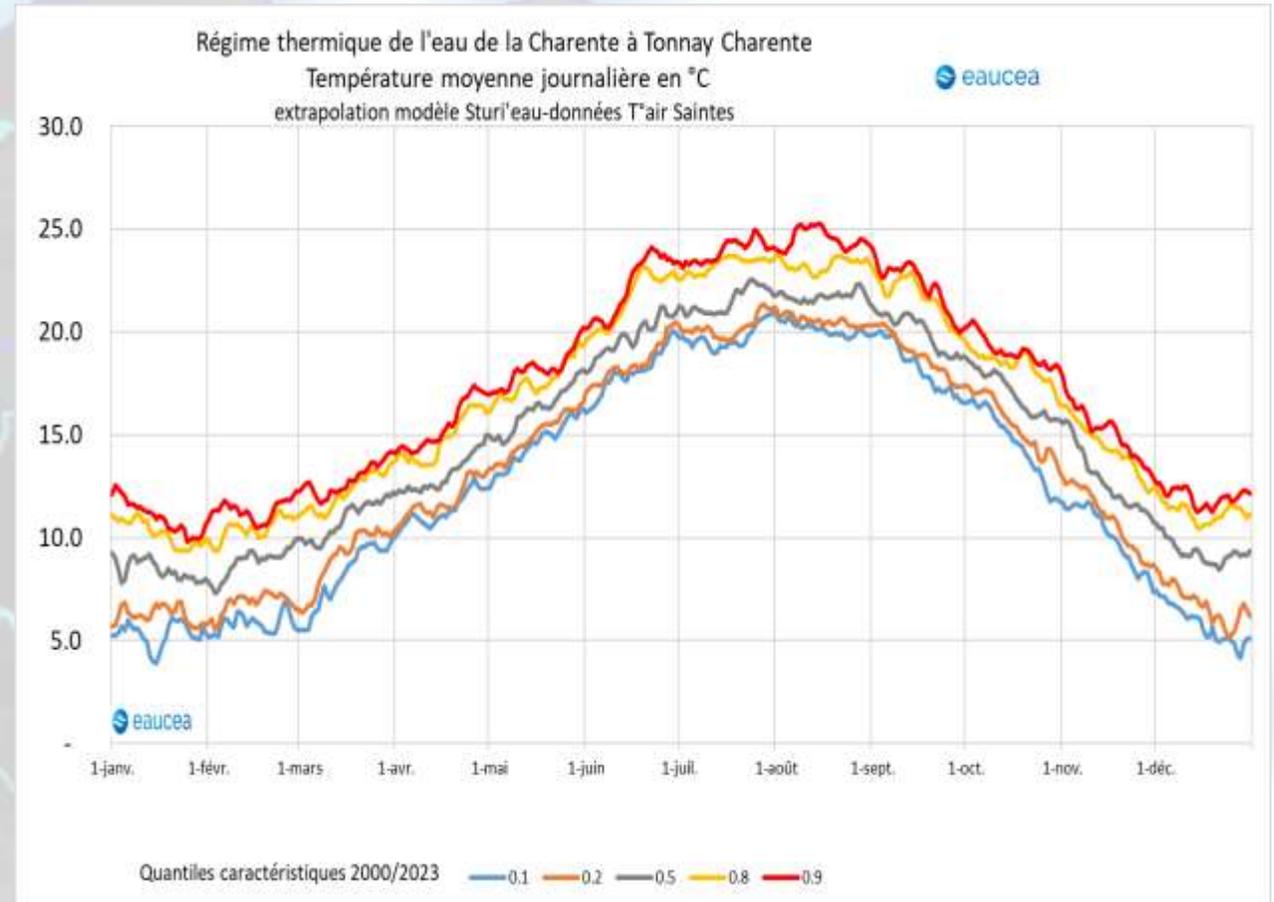
Résultat: L'oxygénation est sous le triple pilotage du débit, du coefficient de marée et de la température

Limites: Insuffisance des chroniques pour la salinité ; turbidité fortement influencée par l'activité humaine; blocage du calcul au débit de crue;



Analyse du risque basée sur la fréquence 20% de deux aléas

0	Nombre	Fréquence	Risque cumulé	
25	1	0%		100%
30	17	2%	2%	100%
35	23	3%	5%	98%
40	28	3%	8%	95%
45	48	6%	14%	92%
50	59	7%	20%	86%
55	65	8%	28%	79%
60	72	8%	36%	72%
65	64	7%	44%	63%
70	61	7%	51%	56%
75	76	9%	60%	49%
80	69	8%	68%	40%
85	64	7%	75%	32%
90	66	8%	83%	24%
95	65	8%	91%	17%
100	25	3%	94%	9%
105	28	3%	97%	6%
110	18	2%	99%	3%
115	7	1%	100%	1%
120	0	0%	100%	0%
	856	100%		



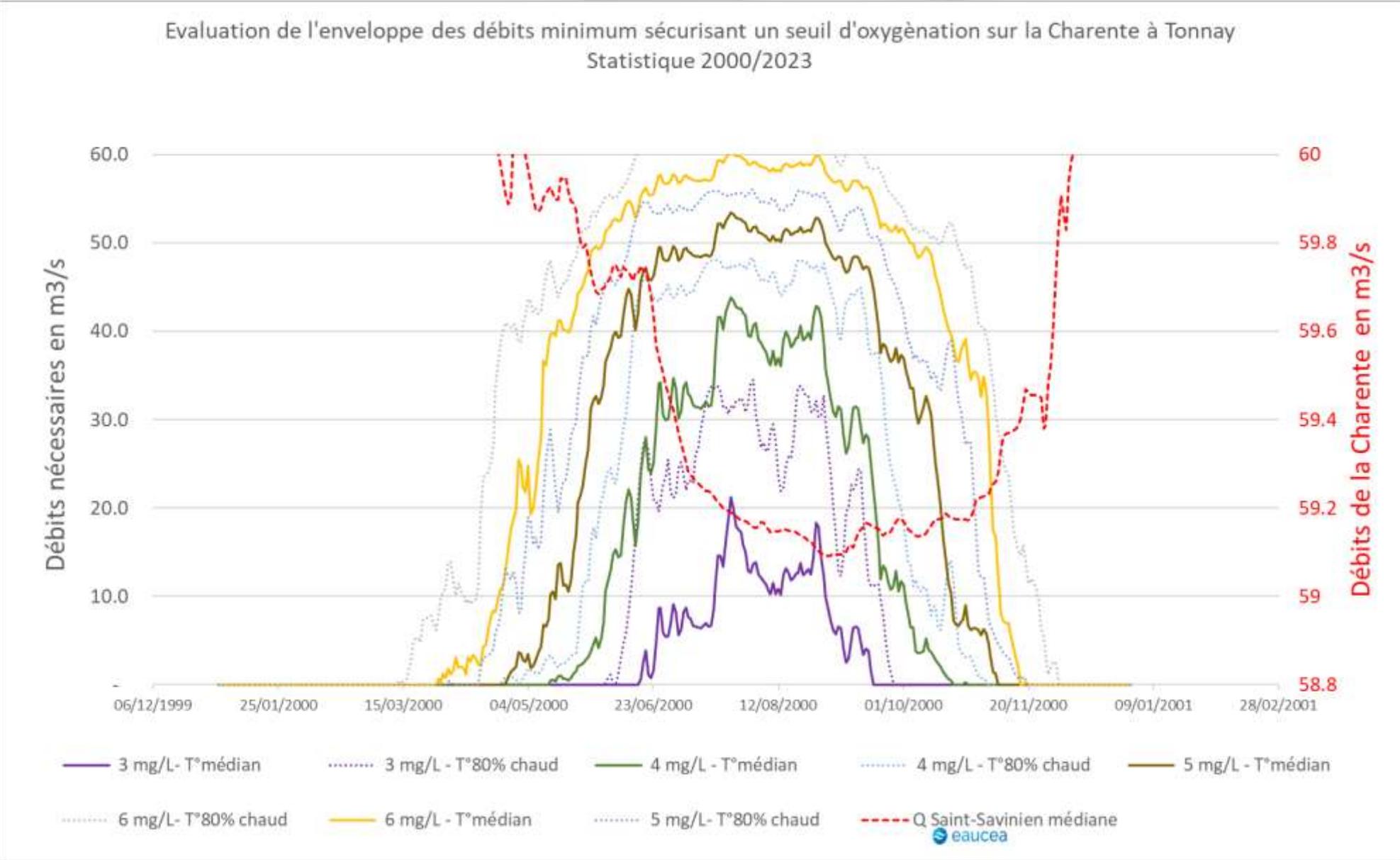
Les grandes marées sont les plus à risque pour la qualité des eaux.

1 marée sur 4 à 5 dépasse 90

Les températures fortes sont les plus à risque pour la qualité des eaux.

1 température sur 5 dépasse la courbe orange

Résultats : quel débit pour quel objectif ? et rapprochement avec l'hydrologie Charente



Analyse ciblée sur les migrations des alosons : des exigences élevées en été

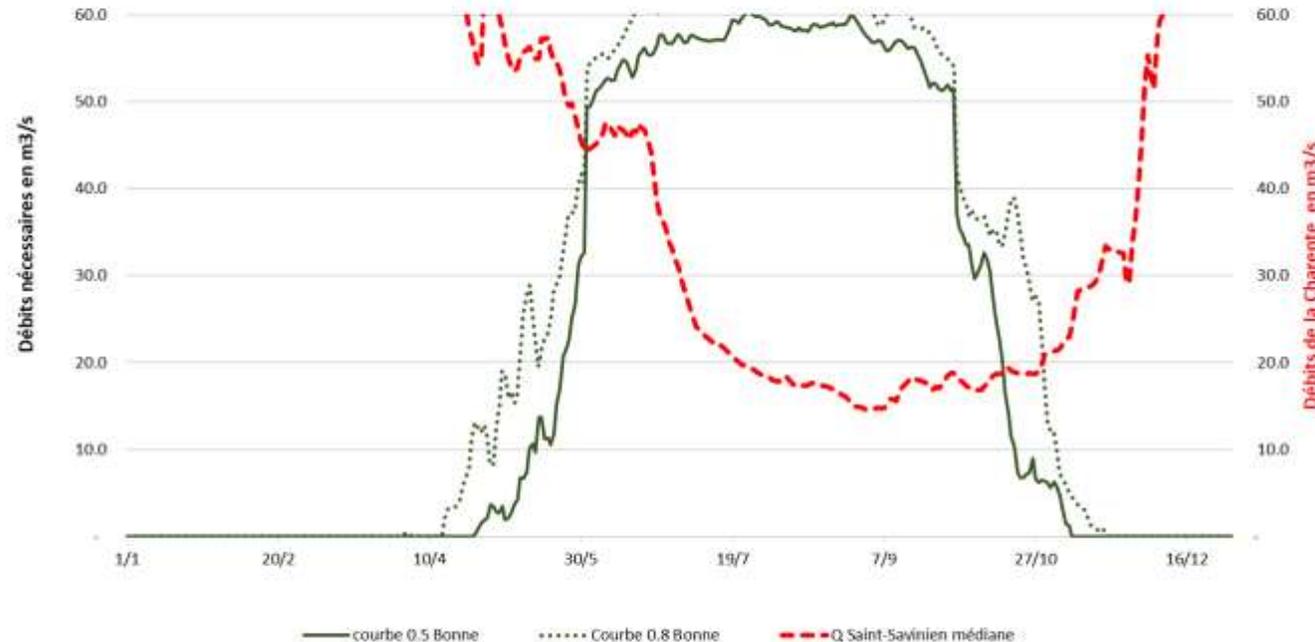
Etat de l'indicateur en fonction de la température et de l'oxygène

Source du tableau : <https://www.migrateurs-charenteseudre.fr/tableau-de-bord/grande-aloise/2023/impact-du-bouchon-vaseux-oxy-temp-sur-les-alosons-2/>

Oxygène/ Température	5≤Temp<15°C	15≤Temp<20°C	20≤Temp<25°C	≥25°C
≥6mg/L	Bon	Bon	Bon	Moyen
5≤Oxy<6 mg/L	Bon	Bon	Moyen	Mauvais
4≤Oxy<5 mg/L	Moyen	Moyen	Moyen	Mauvais
3,3≤Oxy<4 mg/L	Moyen	Mauvais	Mauvais	Mauvais
2≤Oxy<3,3 mg/L	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais
<2 mg/L	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais

Les différents états de l'indicateur au cours du temps sont donc compilés sur la période prépondérante définie pour la dévalaison des alosons, à savoir du **15 mai au 15 octobre**.

Evaluation de l'enveloppe des débits minimum sécurisant un seuil d'oxygénation compatible avec les alosons sur la Charente à Tonnay Statistique 2000/2023



Conclusions : proposition de débit biologique estuarien Charente

Critère	De janvier à mai		De juin à octobre	De novembre à Décembre	
O2 3 mg/L	objectif garanti par des eaux naturellement froides		15 m ³ /s (risque 1 an sur 2)	Objectif garanti par des eaux naturellement froides	
Bon état DCE			30 m ³ /s (risque 2/10)		
O2 5 mg/Très bon état DCE et objectif plancher 4 mG/L			30 m ³ /s (risque 1 an sur 2) 45 m ³ /s risque (risque 2/10)		
O2	30 à 10 m ³ /s en mai	50 m ³ /s à 60 m ³ /s (objectif moyens et fréquence médiane)	10 à 30 m ³ /s en septembre		
Migration alosons (6mg/L d'O2)					
Continuité hydraulique	Sans objet sauf pour la passe à poissons de St Savinien/complexe de Saint-Savinien (bras mobile).				
	Les circulations d'eau internes à l'estuaire sont très largement pilotées par le jeu des marées				
Salinité	Objectif de maintien d'une zone oligohaline en amont de Tonnay-Charente 12 m ³ /s				
Turbidité	60 m ³ /s pour NTU < 500				

Bornes de débits biologiques proposée (m ³ /s) = Charente + Seugne+ Boutonne	Hautes eaux hivernale	periode de transition printemps (alosons)	periode estivale chaude	periode de transition automne (alosons)
Borne basse = temperature moyenne	60	12	30	12
Borne haute = temperature élevée	60	30	40	30

Conclusions : proposition de débit minimum biologique à Saint Savinien

Le **débit minimum biologique** doit se comprendre comme un enjeu très localisé lié à un aménagement et qui ne doit pas être confondu avec l'enjeu du débit biologique de l'estuaire qui interroge surtout la gestion du grand bassin versant et qui nécessite le maintien d'un débit fluvial.

L'alimentation en eau des ouvrages de franchissement ($2,2 \text{ m}^3/\text{s}$) constitue un objectif incontournable et minimal. En période de fermeture des vannes, l'analyse montre la grande complexité des mécanismes reliant la débitance de la passe à poissons et l'attractivité hydraulique du bras naturel à relier avec la forte artificialisation du régime instantané des débits restitués par les clapets. **La circulation des poissons interroge donc plus les dispositifs techniques (passe à poissons et passage sous les vannes) que les débits eux-mêmes.**

La qualité des eaux en pied de barrage se rapproche plus de celle d'un cours d'eau que de l'estuaire notamment pour la salinité et l'oxygène, sauf en ce qui concerne la turbidité.

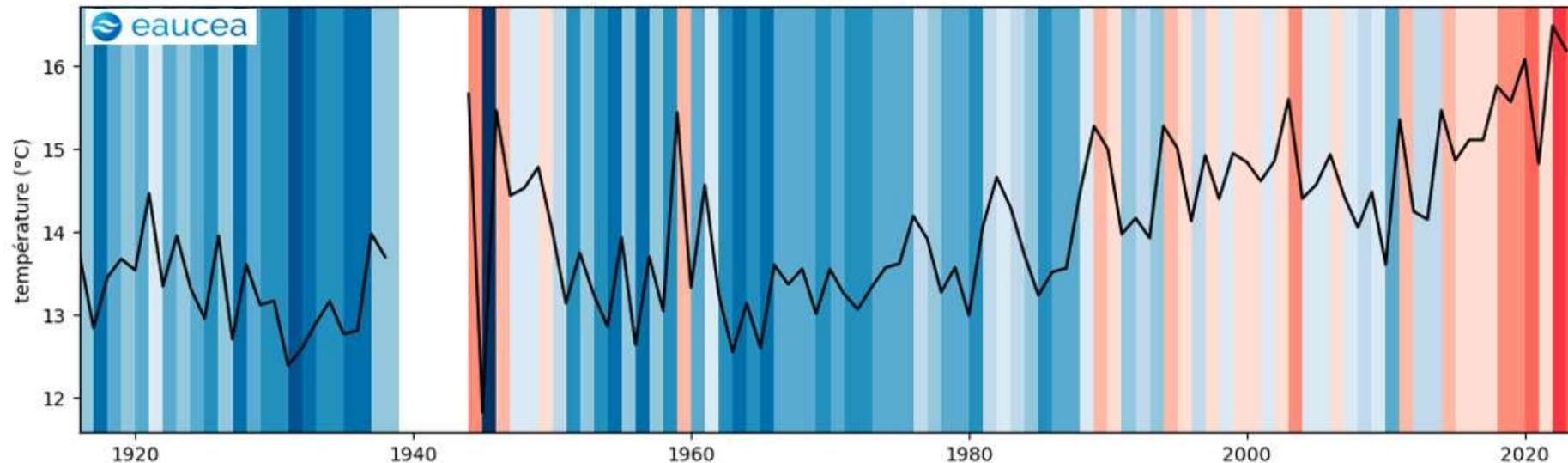
Le lien entre débit d'étiage, turbidité et enjeu biologique reste cependant indirect au niveau de Saint Savinien puisqu'il interroge l'ensemble du processus de gestion du risque d'envasement.

Pour la salinité, les débits qui garantiraient une certaine pérennité de la sectorisation haline de l'estuaire en étiage et **donc le maintien d'une zone oligohaline dans le haut estuaire sont évalués entre 12 et $15 \text{ m}^3/\text{s}$ sur 4 jours consécutifs.**

Conclusions : proposition de débit biologique estuarien

4. Les enjeux du changements climatiques : Notre point de vue.

1. Relativement aisé de projeter les futurs thermiques mais incertitudes sur l'inertie liée à l'océan et de futures canicules encore jamais rencontré;
2. Plus complexe de croiser avec les futurs de l'hydrologie et hydrosédimentaire
3. Hasardeux avec les outils développés de projeter les futurs de l'oxygène en raison du fonctionnement trophique des estuaires



Exemple de paramétrage d'un sous ensemble de modèle biogéochimique explicite

source thèse de Katixa Lajaunie_Salla Modélisation de la dynamique de l'oxygène dissous dans l'estuaire de la Gironde (2016)

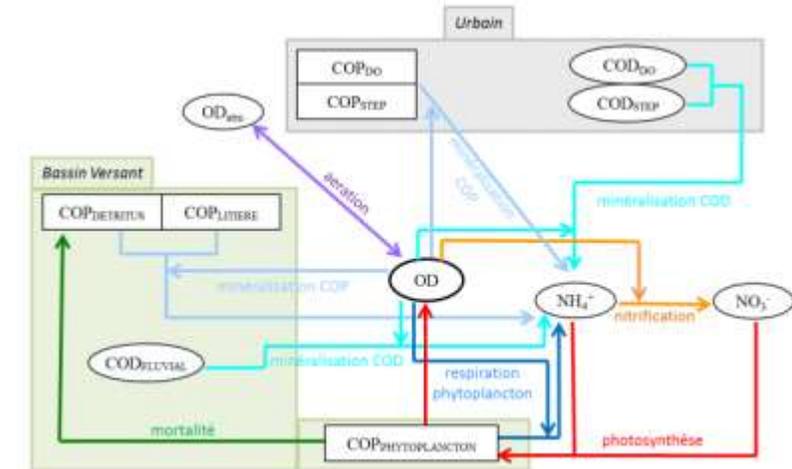


Figure II.4 : Processus biogéochimique du modèle d'oxygène

Tableau II.5 : Formules des paramètres intervenant dans les équations du modèle biogéochimique

Symboles	Nom	Formulation	Références
$f(T)$	Fonction limitante par la température	$f(T) = Q_{10} \frac{T - T_{ref}}{10}$	(Regnier et Steefel, 1999)
$f(T)$	Fonction limitante par la température dans la photosynthèse	$f(T) = \theta^{T - T_{ref}}$	(Ambrose et al., 1993)
$f(I)$	Fonction limitante par la lumière	$f(I) = \frac{I_0 \alpha_{PAR} e^{-K_e I}}{I_s} \exp\left(1 - \frac{I_0 \alpha_{PAR} e^{-K_e I}}{I_s}\right)$, I_0 : Intensité lumineuse ($J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	(Steele, 1962)
$f(N)$	Fonction limitante par les nutriments	$f(N) = \frac{[NH_4^+] + [NO_3^-]}{[NH_4^+] + [NO_3^-] + K_N}$	(Ambrose et al., 1993)
K_e	Coefficient d'atténuation	$K_e = 0,13 + 0,049 \cdot MES$	(Trigoien et Castel, 1997)
α_N	Fraction de NH_4^+ assimilée par le phytoplancton	$\alpha_N = \left(\frac{[NH_4^+][NO_3^-]}{([K_N + [NO_3^-]][K_N + [NH_4^+])}\right) + \left(\frac{[NH_4^+]K_N}{([NH_4^+] + [NO_3^-])(K_N + [NH_4^+])}\right)$	(Zheng et al., 2004)
k_{aera}	Taux d'aération (s^{-1})	$k_{aera} = k_{600} \left(\frac{600}{Sc_{O_2}}\right)^{-n}$, with $n = \begin{cases} \frac{2}{3} & \text{if } U_{10} < 2m \cdot s^{-1} \\ -\frac{1}{2} & \text{if } U_{10} > 2m \cdot s^{-1} \end{cases}$	(Wanninkhof, 1992) (Jähne et al., 1987)
k_{600}	Vitesse de transfert de gaz normalisée au nombre de Schmidt de 600 ($cm \cdot h^{-1}$)	$k_{600} = 1,8e^{0,0165v} + [1,23 + \log(A)][1 - 0,44SSC] \cdot U_{10}$ v : courants ($m \cdot s^{-1}$) ; A : surface (km^2) ; U_{10} : vent à 10 m ($m \cdot s^{-1}$) ; MES : concentration de la matière en suspension ($g \cdot L^{-1}$)	(Abril et al., 2009)
$[OD]_{sat}$	Oxygène dissous à saturation ($\mu mol \cdot L^{-1}$)	$[OD]_{sat} = 14,652 - 0,0841 \cdot S + [-0,41022 + 0,00256 \cdot S + A(S, T) \cdot T] \cdot T$ $A(S, T) = 0,007991 - 0,0000374 \cdot S - 0,000077774 \cdot T$ S : salinité et T : température ($^{\circ}C$)	(Lopes et al., 2008)
Sc_{OD}	Coefficient de Schmidt	$Sc_{OD(T,S)} = \frac{Sc_{O_2(T,S)}}{Sc_{O_2(T,S)}}, S + Sc_{O_2(T,S)}$	(Wanninkhof, 1992)
$Sc_{OD(T,35)}$	Coefficient de Schmidt pour une salinité de 35 psu	$Sc_{OD(T,35)} = 1953,4 - 128T + 3,99187T^2 - 0,050091T^3$	(Wanninkhof, 1992)
$Sc_{OD(T,0)}$	Coefficient de Schmidt pour une salinité de 0 psu	$Sc_{OD(T,0)} = 1800,6 - 120,17T + 3,78187T^2 - 0,047608T^3$	(Wanninkhof, 1992)

Tableau II.6 : Valeurs des paramètres intervenant dans les équations du modèle biogéochimique

Symboles	Minéralisation	Unité	Value	Références
K_{OD}	Constante de demi-saturation de l'OD pour la minéralisation	$\mu mol \cdot L^{-1}$	15	(Regnier et Steefel, 1999)
Q_{10}	Coefficient de température pour la minéralisation	/	2	(Regnier et Steefel, 1999)
T_{ref}	Température de référence	$^{\circ}C$	20	/
C/N	Rapport carbone azote	/	10	/
O/C	Rapport oxygène carbone	/	1	/
Symbol	Photosynthèses			
G_{pmax}	Vitesse de croissance maximale du phytoplancton	d^{-1}	0,25	(Thouvenin et al., 1994)
K_N	Constante de demi-saturation pour N	$\mu mol \cdot L^{-1}$	0,714	(Xue et al., 2014)
I_s	Intensité lumineuse de saturation	$J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	145	(Di Toro et al., 1977)
θ_{Ph}	Coefficient de température de photosynthèse	/	1,066	(Zouiten et al., 2013)
α_{PAR}	Fraction l'énergie solaire incidente sur la surface (PAR)	/	0,45	(Brock, 1981)
$(C/N)_{Ph}$	Rapport carbone azote pour la photosynthèse	/	6	/
$(O/C)_{PhNH_4^+}$	Rapport oxygène carbone pour l'assimilation de NH_4^+ par le phytoplancton	/	1	/
$(O/C)_{PhNO_3^-}$	Rapport oxygène carbone pour l'assimilation de NO_3^- par le phytoplancton	/	1,25	/
Symbol	Nitrification			
k_{nit}	Cinétique de nitrification	d^{-1}	0,1	(Ambrose et al., 1993)
$K_{NH_4^+}$	Constante de demi-saturation pour NH_4^+	$\mu mol \cdot L^{-1}$	100	(Billen et al., 1994)
K_{OD}	Constante de demi-saturation pour OD de nitrification	$\mu mol \cdot L^{-1}$	15	(Regnier et Steefel, 1999)
$(O/N)_{nit}$	Rapport oxygène azote pour la nitrification	/	2	/
Symbol	Aération			
A	Surface	km^2	500	(Abril et al., 2009)
Symbol	Mortalité			
k_m	Cinétique de mortalité	d^{-1}	0,01	(Thouvenin et al., 1994)

Merci

Des questions ?



Bruno COUPRY



eaucea@eaucea.fr



05 61 62 50 68



www.eaucea.fr